

# Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático

Á.M. Felicísimo<sup>1</sup>, J. Muñoz<sup>2</sup>, R.G. Mateo<sup>3</sup>, C.J. Villalba<sup>4</sup>

(1) Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura, 06800 Mérida, España.

(2) Real Jardín Botánico (CSIC), Plaza de Murillo 2, 28014 Madrid, España.

(3) Institute of Botany, University of Liège, B22 Sart Tilman, B-4000 Liège, Bélgica

(4) Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, Calle Curros Enríquez 4, 32003 Ourense, España.

\* Autor de correspondencia: A.M. Felicísimo [[amfeli@unex.es](mailto:amfeli@unex.es)]

> Recibido el 23 de septiembre de 2012, aceptado el 22 de noviembre de 2012.

**Felicísimo, A.M., Muñoz, J., Mateo, R.G., Villalba, C.J. (2012). Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. *Ecosistemas* 21(3):1-6. Doi.: 10.7818/ECOS.2012.21-3.01**

Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. En este artículo se presentan los resultados de un proyecto que incide en la vulnerabilidad de la flora. La construcción de modelos de distribución potencial basados en el nicho climático actual y su proyección a escenarios futuros permitió estimar la evolución de las zonas potenciales para 75 especies forestales y 145 de flora amenazada. Los resultados mostraron que un 23% de las primeras y un 43% de las segundas tienen una vulnerabilidad crítica o muy alta.

**Palabras clave:** modelos de distribución potencial de especies, HDCM3, ECHAM4, escenarios IPPC, Maxent

**Griffith, D.M., Coronado, I., Asa, C., Polisar, J., Carmona, I. (2012). Vulnerability of the Spanish flora, vegetation to climate change. *Ecosistemas* 21(3):1-6. Doi.: 10.7818/ECOS.2012.21-3.01**

Vulnerability of the Spanish flora, vegetation to climate change. In this paper we present the results of a research project aiming to evaluate the vulnerability of the Spanish flora, vegetation to climate change. Species distribution models were generated for the current climatic conditions, projected into modeled future conditions. The estimated evolution of 75 forest taxa, 145 threatened species showed that 23% of the former, 43% of the latter face a high or very high vulnerability risk.

**Key words:** spatial distribution models, HDCM3, ECHAM4, IPPC scenarios, Maxent

## Introducción

Entre los años 2008 y 2010 se realizaron dos proyectos por encargo del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino cuyo objetivo general fue evaluar posibles impactos y predecir la situación futura de taxones de la flora (Felicísimo et al. 2011) y fauna (Araújo et al. 2011) españolas ante diversos escenarios de cambio climático global.

Estos proyectos se realizaron como parte del desarrollo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (OECC 2006), aprobado en el año 2006, que en uno de sus objetivos indica la necesidad de “desarrollar y aplicar métodos y herramientas para evaluar los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos”.

En este artículo presentamos, de forma muy sintética, los datos del proyecto de flora relativos a la vulnerabilidad de los taxones analizados (especies y subespecies). Dicho estudio fue encargado por la Oficina Española de Cambio Climático y realizado por el grupo de investigación Kraken de la Universidad de Extremadura.

Ambos proyectos utilizaron modelos de distribución potencial de especies (MDP) para analizar las relaciones entre la distribución actual de un conjunto de taxones y una serie de variables climáticas. Los MDP son hoy en día una herramienta muy utilizada en in-

vestigación y gestión y se han utilizado para fines muy diversos, desde el análisis de especies invasoras hasta la extensión de enfermedades provocadas por vectores animales (Guisan y Zimmermann 2000, Guisan y Thuiller 2005, Araújo y Guisan 2006, Elith y Leathwick 2009).

Los MDP son representaciones cartográficas de la idoneidad de cada punto del terreno para la presencia de una especie. El valor de idoneidad se establece a partir de la relación estadística observada entre la distribución real conocida de la especie y un conjunto de variables independientes que reflejan el clima y, complementariamente, propiedades geológicas y topográficas. La relación estadística se usa para definir un “nicho climático” que delimita los valores ambientales adecuados para cada taxón respecto al clima reciente. Este nicho climático es utilizado para delimitar cartográficamente zonas potencialmente adecuadas tanto en la actualidad como en escenarios climáticos alternativos (Mateo et al. 2011).

En el proyecto mencionado se partió de la construcción de mapas de clima reciente para la España peninsular (excluyendo las islas Baleares y Canarias, así como Ceuta y Melilla) y de los equivalentes para diversas combinaciones de modelos y escenarios de clima futuro. Las variables climáticas representadas en los mapas fueron utilizadas como descriptores para la construcción de los MDP.

## Objetivos generales y específicos

El objetivo general del trabajo fue evaluar posibles impactos y predecir una situación futura probable de hábitats y taxones de la flora española ante diversos escenarios de cambio climático o, dicho de otra forma, analizar los potenciales efectos del cambio climático sobre la flora española.

Los objetivos específicos del proyecto fueron los siguientes:

- construir modelos de distribución potencial de la flora actual:
  - aplicables al clima del periodo de referencia 1961-1990.
  - proyectados a situaciones climáticas futuras elaboradas por combinación de modelos, escenarios y horizontes diversos.
- comparar las distribuciones reales actuales con las potenciales actuales y futuras.
- realizar una valoración territorial y definir las áreas críticas.
- establecer los patrones generales de riqueza específica actual y prevista en los escenarios futuros.
- identificar las áreas donde el cambio climático afectará en mayor medida a la biodiversidad.
- construir indicadores de vulnerabilidad de los taxones y tipos de hábitat.
- construir listados de taxones y tipos de hábitat de atención preferente.
- proponer actuaciones de adaptación en cuanto a los usos del territorio y los espacios naturales protegidos.
- proponer líneas de investigación para el futuro.
- En este artículo comentaremos exclusivamente los resultados relativos a la vulnerabilidad estimada de los taxones; el proyecto completo puede consultarse en el wiki del proyecto (ver sección Difusión en Internet).

## Datos

### Datos de flora y vegetación

Los datos de presencia actual de flora y vegetación provienen respectivamente del Atlas y Libro Rojo de Flora Vasculosa Amenazada (Bañares Baudet et al. 2009) y del Mapa Forestal de España (Ruiz de la Torre 1990).

Los datos de flora amenazada, proporcionados por la Dirección General para la Biodiversidad, incluyen localizaciones de las poblaciones referenciadas a una cuadrícula UTM de 1 km<sup>2</sup>. Tras la revisión del año 2008 aparecen 318 taxones y unos 8000 registros. El criterio inicial para incluir o descartar taxones ha sido el número de presencias: se han incluido todos aquellos que aparecen en al menos cinco cuadrículas. La lista final de flora amenazada incluye un total de 145 taxones (especies o subespecies).

El resto de taxones proviene del MFE, un mapa vectorial de polígonos con una tabla asociada con 72 campos de información. El MFE contiene información sobre un gran número de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas de las cuales fueron descartadas aquellas que cumplían alguna de las condiciones siguientes: ser cultivadas o alóctonas, ser características de formaciones degradadas, tener una presencia marginal, responder a categorías no taxonómicas o ser taxones supraespecíficos no homogéneos. La lista final está formada por un total de 75 especies donde están representados todos los bosques ibéricos y una parte importante de las especies arbóreas y arbustivas. Las muestras corresponden a las presencias en cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> coherentes con los mapas climáticos (ver sección siguiente).

El listado completo de taxones puede consultarse en el wiki del proyecto (ver sección Difusión en Internet).

### Datos de clima

Los datos de clima reciente y las proyecciones estadísticas regionalizadas para el futuro provienen de la Agencia Estatal de Me-

teorología (AEMET), que los proporcionó a nivel de estación meteorológica (2173 estaciones pluviométricas y 973 termométricas). Los datos brutos fueron organizados y se determinaron las 36 variables que se usarían como descriptores en los modelos: temperaturas medias de las máximas, medias de las mínimas y precipitación para cada mes de enero a diciembre usando los valores medios respectivos para el periodo de referencia 1961-1990. Respecto al clima futuro, las proyecciones de las estaciones meteorológicas proporcionadas asimismo por la AEMET permitieron determinar los valores equivalentes para varias combinaciones de escenarios, modelos y periodos futuros, principalmente: escenarios A2 y B2 del IPCC, modelos CGCM2 y ECHAM4 y periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Estos modelos y escenarios fueron elegidos porque cubren un amplio rango de variabilidad de acuerdo dentro de las opciones disponibles (AEMET 2008, Brunet et al. 2009)

## Métodos

### Cartografía climática

A partir de los datos de las estaciones meteorológicas actuales se elaboraron mapas climáticos para cada mes desde 1961 hasta 2007 con una resolución de 1 km<sup>2</sup>. Los mapas se construyeron en dos fases. En la primera se interpolaron los valores mediante "kriging" ordinario. El método fue adoptado después de realizar pruebas con otras opciones de interpolación como la inversa de la distancia, splines y cokriging, valorando el ajuste mediante validación cruzada. Las temperaturas se modificaron en una segunda fase incluyendo gradientes altitudinales en las zonas de montaña. Los gradientes fueron calculados empíricamente para cada mes del año y variable (temperatura media de las máximas y de las mínimas) y aplicados exclusivamente en las zonas altitudinales donde no existían datos reales de estaciones que, en su gran mayoría, están por debajo de los 1000 m.

Podemos destacar que la cartografía climática partiendo de datos puntuales puede realizarse mediante varios métodos de interpolación diferentes. Los trabajos sobre este aspecto son abundantes pero la conclusión general es que no existe un "mejor método" en toda circunstancia sino que deben realizarse pruebas en función de los datos existentes y la realidad geográfica de la zona de estudio (Hutchinson 1991, Collins y Bolstad 1996, Sheikh-hasan 2006).

### Modelos de distribución potencial

Los modelos de distribución potencial se construyeron con MAXENT, una aplicación basada en ajustes de máxima entropía (Phillips et al. 2006, Phillips y Dudík 2008) ampliamente utilizada en este tipo de trabajos y que muestra resultados adecuados en comparación con otros métodos posibles (Elith et al. 2006).

MAXENT proporciona valores de idoneidad y un conjunto de resultados complementarios como el área bajo la curva ROC (AUC, usada como medida de ajuste a los datos), la importancia de las variables incluidas en el modelo y las curvas de respuesta o relación entre la probabilidad predicha y los valores de cada variable independiente.

Los MDP se construyeron para cada taxón a partir de los datos de clima reciente y fueron proyectados a cada combinación de escenario/modelo/periodo de clima futuro generando un total de 2640 mapas de idoneidad (220 taxones × 2 modelos climáticos × 2 escenarios × 3 horizontes temporales).

El control del ajuste de los modelos se realizó mediante el estadístico AUC o área bajo la curva ROC. Este estadístico mide el ajuste del modelo a los datos de entrada y suele variar en el rango 0.5 (azar) a 1.0 (ajuste perfecto). En la línea de las críticas que se han hecho al AUC (Lobo et al. 2008, Golicher et al. 2012) este estadístico no debe interpretarse como una medida de calidad del modelo sino exclusivamente como un estimador del ajuste del modelo a los datos.

### Vulnerabilidad

A partir de las áreas ocupadas en la actualidad y las potenciales futuras se diseñó y calculó un índice de vulnerabilidad. El indicador IV (índice de vulnerabilidad) se ha definido de la forma siguiente:

$$IV = 1 - ((APF \cap AOA) \cdot (APF \cap APA))$$

donde

- (APF ∩ AOA) es la intersección entre el área potencial futura y el área realmente ocupada en la actualidad (en tanto por uno).
- (APF ∩ APA) es la intersección entre el área potencial futura y el área potencial actual (en tanto por uno).

El primer componente es un estimador de la persistencia del área potencial ante el cambio climático y penaliza su cambio espacial (aunque el área potencial futura sea amplia). Consecuentemente, si el área potencial actual se mantiene en buena medida en el futuro (aunque no esté ocupada realmente a día de hoy), el índice de vulnerabilidad disminuye, pues se considera que en esta situación cabe el diseño de planes y actuaciones de conservación con más posibilidades reales de éxito.

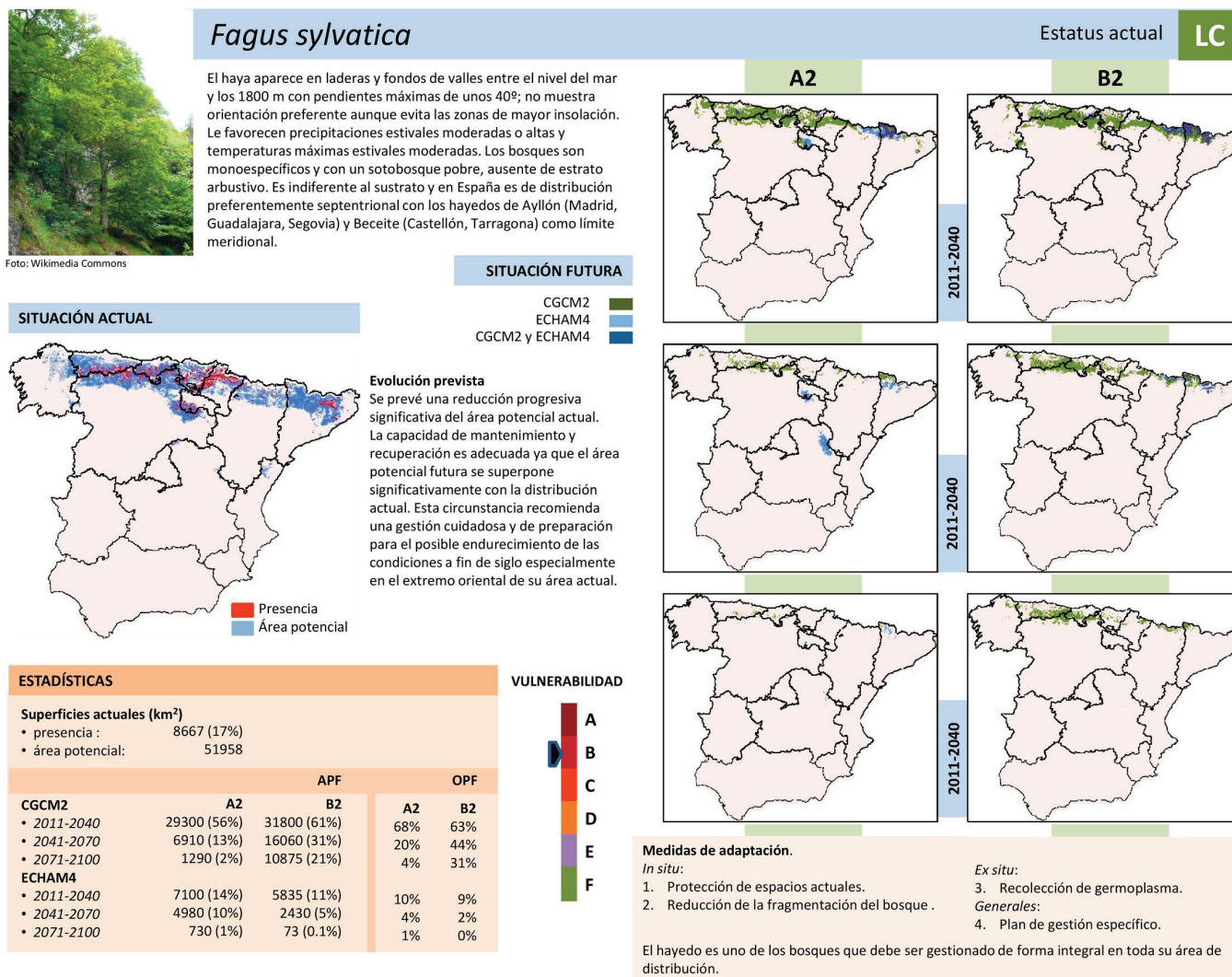
El segundo componente es indicador de la posibilidad de que las poblaciones existentes hoy se mantengan en su área de distribución actual: si el área potencial futura no se superpone con el área de ocupación real, las poblaciones actuales desaparecerán y el futuro se verá mucho más comprometido.

La multiplicación de ambos componentes se realiza porque se supone un efecto sinérgico. Consecuentemente, la escala resultante no es lineal, por lo que se han elegido intervalos de clases diferentes, estrechos en las vulnerabilidades más altas y más anchos en las más bajas, como se muestra en la **Tabla 1**. Este índice toma valores positivos cuando existe reducción en las intersecciones de las áreas pero puede tomar valores menores que cero si hay una expansión de las áreas potenciales y las zonas actuales caen íntegramente dentro de las futuras. Estos casos se pueden interpretar como que el taxón se ve beneficiado por las nuevas condiciones climáticas.

Como antecedente sobre este tipo de índices aplicado a trabajos similares podemos citar a (Settele et al. 2008) donde se usa exclusivamente el porcentaje de pérdida de superficie potencial.

**Tabla 1.** Categorías de vulnerabilidad (IV: índice de vulnerabilidad).

Categoría	Vulnerabilidad	IV
A	Crítica	IV >= 0.95
B	Muy alta	0.85 <= IV < 0.95
C	Alta	0.70 <= IV < 0.85
D	Media	0.40 <= IV < 0.70
E	Leve	0.00 <= IV < 0.40
F	Inexistente	IV < 0.00



**Figura 1.** Ficha resumen de *Fagus sylvatica*. Fuente: (Felcísimo, Muñoz et al. 2011)

Los valores del IV pueden calcularse para cualquier combinación de modelo, escenario y horizonte. En el proyecto original se calcularon a partir de las estadísticas de la combinación CGCM2/B2/2041-2070, elegida por ser normalmente la más moderada con lo que el índice representa la opción más favorable de las utilizadas. El grado de vulnerabilidad de estos taxones puede servir como indicador para definir prioridades en las políticas y actuaciones de conservación, considerando el papel que representan (por ejemplo, las quercíneas) en el conjunto de la vegetación peninsular.

## Resultados

### Estadísticas y mapas

Los resultados del proyecto original incluyeron un amplio conjunto de estadísticas y mapas a las que se puede acceder íntegramente a través del wiki del proyecto (ver Difusión en Internet). Entre las estadísticas disponibles destacan las siguientes: (1) tendencias en el clima globales, por Comunidad Autónoma (CC.AA.) y por cuenca hidrológica, (2) evolución de la distribución potencial de cada taxón: superficies real y potencial actual y futura para cada combinación de modelo, escenario y horizonte temporal, (3) porcentajes de solapamiento entre superficies reales y potenciales, (4) valores de AUC (ajuste de los modelos), (5) curvas de respuesta e importancia de las variables para cada modelo MAXENT, (6) síntesis de la importancia de las variables en el conjunto de los modelos MAXENT y (7) tablas de vulnerabilidad de los taxones.

Entre los mapas generados figuran los siguientes: (1) cartografía climática mes a mes desde 1961 a 2007 para las tres variables consideradas (temperaturas medias de las máximas, de las mínimas y precipitaciones), (2) mapas de idoneidad actuales y futuros resultantes de los modelos MAXENT para cada taxón, (3) síntesis de riqueza específica general actual y futura para cada combinación de modelo, escenario y horizonte temporal, (4) delimitación de zonas de máxima pérdida de riqueza específica en el futuro y (5) evolución de la riqueza específica por CC.AA., Parques Nacionales, Lugares de Importancia Comunitaria, espacios MaB, y Zonas de Especial Protección para las Aves.

La información que se consideró más importante para una visión de síntesis se recogió en fichas que han sido publicadas en el wiki del proyecto (ver Difusión en Internet); la **Figura 1** muestra la correspondiente al haya, *Fagus sylvatica*.

### Vulnerabilidad

La **Tabla 2** muestra el número de taxones incluidos en cada categoría de vulnerabilidad de acuerdo con la clasificación descrita en la **Tabla 1**. La fila MFE hace referencia a los taxones del Mapa Forestal de España y la ESP a la lista de especies amenazadas.

**Tabla 2.** Recuento de taxones por categoría de vulnerabilidad (MFE: taxones del Mapa Forestal de España; ESP: taxones de Flora Amenazada). A: vulnerabilidad crítica; B: muy alta; C: alta; D: media; E: leve; F: inexistente (porcentajes redondeados al 1%)

IV	A	B	C	D	E	F	Total
MFE	8 (11%)	9 (12%)	12 (16%)	23 (30%)	11 (15%)	12 (16%)	75
ESP	70 (48%)	6 (4%)	4 (3%)	5 (3%)	8 (6%)	52 (36%)	145

La tabla muestra que se prevén impactos muy significativos para muchos taxones de la flora amenazada, pues el 48% está dentro de la categoría A (crítica). Las especies del MFE se ven afectadas pero, en general, con menos intensidad. Es importante resaltar, sin embargo, que hay especies en categorías altas de vulnerabilidad que actualmente conforman bosques o formaciones de dehesa que representan una fracción muy significativa de la cubierta vegetal peninsular.

A modo de ejemplo, en la **Tabla 3** se presentan las principales especies forestales, su índice de vulnerabilidad y las superficies actuales reales y potenciales. Respecto a la superficie real (ocupada actualmente) debe considerarse que la cifra que se muestra es el número de cuadrículas de 1 km<sup>2</sup> donde la especie está presente pero no significa que esa especie cubra la totalidad de la cuadrícula. Las tablas completas pueden encontrarse en el wiki del proyecto (ver Difusión en Internet).

**Tabla 3.** Tabla de valores de vulnerabilidad para los algunos taxones del Mapa Forestal de España (IV: índice de vulnerabilidad; CAT: categoría de vulnerabilidad; AR: área real actual (km<sup>2</sup>); APA: área potencial actual (km<sup>2</sup>); %: porcentaje del APA ocupado actualmente).

TAXÓN	IV	CAT	AR	APA	%
Abies alba	0.94	B	568	7072	8
Abies pinsapo	0.98	A	97	854	11
Betula celtiberica	0.72	C	38011	54060	7
Fagus sylvatica	0.81	C	8667	51958	17
Ilex aquifolium	0.64	D	2261	117679	2
Pinus halepensis	0.47	D	19585	70330	28
Pinus nigra	0.02	E	12841	51075	25
Pinus pinaster	0.70	C	12390	141437	9
Pinus pinea	0.55	D	648	123655	1
Pinus sylvestris	0.90	B	12807	67295	19
Pinus uncinata	0.45	D	1670	6245	27
Quercus canariensis	0.63	D	634	31506	2
Quercus faginea	0.61	D	25095	161304	16
Quercus ilex	0.88	B	4257	19250	22
Quercus petraea	0.88	B	2157	82808	3
Quercus pubescens	0.98	A	8670	51960	17
Quercus pyrenaica	0.47	D	22487	112614	19
Quercus robur	-0.02	F	9377	49110	19
Quercus rotundifolia	0.73	C	96579	196585	49
Quercus suber	0.95	A	13559	86569	15

En la tabla anterior puede observarse que, de forma general, la zona potencial es mucho mayor que la zona ocupada, lo cual refleja el retroceso de los bosques ante la progresiva humanización del entorno pero también la posibilidad de expansión o regeneración en muchos lugares donde los usos agropecuarios tradicionales han ido en regresión.

## Conclusiones y discusión

Un cambio rápido en las condiciones climáticas es siempre un factor negativo para las especies que posiblemente no tendrán tiempo de adaptarse o posibilidad de migrar hacia localidades más benignas. Los resultados de este proyecto señalan que una mayoría de los taxones analizados tendrán previsiblemente problemas importantes en un futuro próximo debido a esa circunstancia. Los efectos más importantes vendrían de la pérdida de idoneidad climática en el área actual de distribución y del cambio geográfico de las áreas potencialmente adecuadas en el futuro. De producirse estos efectos, la pérdida de biodiversidad prevista es muy significativa (Arribas et al. 2012).

La interpretación de estos resultados no debe hacerse, sin embargo, sin tener en cuenta las limitaciones de los datos y de los métodos que han permitido llegar a ellos.

El primer lugar, es necesario destacar que las proyecciones al futuro, no solo del cambio climático sino de sus efectos sobre la vegetación, están afectadas por un alto grado de incertidumbre. Los modelos y escenarios climáticos disponibles son abundantes y la variabilidad es muy amplia (Rogelj et al. 2012). En el proyecto, el efecto de esta variabilidad se muestra con claridad en las tendencias climáticas mencionadas en la sección de Estadísticas y mapas y en la cartografía de distribución potencial futura ajustada a los modelos CGCM2 y ECHAM4 y escenarios A2 y B2. En las tenden-

cias, el calentamiento de las zonas meridionales de España varía en varios grados mientras que en los mapas, aunque las tendencias son similares ("migración" de las áreas idóneas hacia el Norte, por ejemplo), la coincidencia en las superficies potenciales difiere en ocasiones de forma significativa.

También es necesario destacar algunas limitaciones derivadas de los tamaños de muestra en los datos de presencia de especies. En este sentido, los taxones del MFE no presentan problemas porque las muestras son amplias, en general de cientos o miles de datos de presencia. Sin embargo, los taxones de flora amenazada aparecen con presencias mínimas y solo se han descartado aquellos con menos de 5. La reducción del tamaño de muestra tiene algunos efectos sobre los modelos que es importante tener en cuenta en la interpretación. El primero es que es muy fácil que el ajuste sea perfecto (AUC=1) debido a la sobreparametrización (se usan más variables descriptoras que datos) sin que ello signifique nada sobre la calidad real del modelo. El segundo es que la aparición de cualquier punto nuevo puede hacer variar drásticamente los parámetros del modelo y el área potencial resultante. Consecuentemente, estos modelos deben ser interpretados con mucha precaución asignándoles una fiabilidad muy dependiente de los datos de entrada y una fuerte inestabilidad.

Respecto a la interpretación de los modelos, se ha comentado en la sección de Métodos que MAXENT proporciona información sobre la importancia de las variables que han intervenido. Cabe destacar aquí que los modelos elaborados con cualquier método de los utilizados en este tipo de trabajos no son causales, es decir, no demuestran que la variables de mayor importancia sean causa directa de la distribución sino solamente que estas variables son descriptoras útiles o ajustadas de dicha distribución. Es posible (incluso probable) que algunas de estas variables actúen en la realidad como factores limitantes pero esa interpretación no puede probarse solamente con el modelo de predicción. Complementariamente, algunos trabajos han mostrado que cambios en la elección de las variables puede hacer variar de forma significativa los mapas de idoneidad aunque el ajuste se mantenga siempre alto (Synes y Osborne 2011).

Finalmente, debe hacer énfasis en que este tipo de modelos es una enorme simplificación del sistema real y pueden generar resultados poco adecuados (Jiménez-Valverde et al. 2008). En un sentido estricto, el modelo señala solamente qué zonas del territorio son similares climáticamente a las ocupadas por el taxón analizado obviando muchos otros factores. Por ejemplo, los modelos no pueden prever que exista una inesperada capacidad adaptativa de la vegetación ante condiciones climáticas concretas ni pueden llegar a predecir una respuesta ante combinaciones de variables climáticas no existentes en la actualidad. Tampoco tienen en cuenta factores bióticos que pueden reducir el área potencial como la competencia (Pearson y Dawson 2003) o el mutualismo (Gutiérrez et al. 2005) u otros factores de especial importancia en relación con el cambio climático (Araújo y Luoto 2007).

Asimismo, se parte de algunas hipótesis que no tienen por qué cumplirse en la realidad como la del equilibrio o pseudo-equilibrio con las condiciones ambientales (Araújo y Pearson 2005) o la homogeneidad en cuanto a adaptabilidad en poblaciones diferentes cuando el modelo se construye con todas las presencias de una misma especie que a veces ocupan rangos espaciales muy diversos (Osborne y Suárez-Seoane 2002).

A pesar de todos estos problemas, este tipo de herramientas representa una forma objetiva de combinar y elaborar información compleja por lo que sus resultados pueden servir de orientación tanto a los especialistas en flora y vegetación como a los responsables del diseño de políticas de adaptación al cambio climático

## Difusión en Internet

La información del proyecto está disponible y accesible mediante en internet. Las aplicaciones web desarrolladas son las siguientes: (1) wiki del proyecto con acceso al texto completo del

informe, estadísticas, fichas y parámetros de los modelos en <http://secad.unex.es/wiki/libroOECC>, (2) Nodo IDE basado en Geonetwork para la descarga de datos: mapas climáticos y modelos actuales y futuros en formato digital y metadatos en <http://ide.unex.es/>, (3) tracker para la descarga masiva mediante el protocolo BitTorrent (P2P) en <http://158.49.96.156:6969/tracker/>

Los libros de los proyectos de flora y fauna están disponibles en PDF (ver wiki) bajo una licencia Creative Commons, que permite su libre descarga, uso y redistribución con el único requisito de citar las fuentes.

## Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por la Oficina Española de Cambio Climático (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).

## Referencias

- AEMET 2008. Extracción de un subconjunto de proyecciones regionalizadas manteniendo el rango de incertidumbres. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid. España.
- Araújo, M.B., Pearson, R. G. 2005. Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography* 28:693-695.
- Araújo, M.B., Guisan, A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* 33:1677-1688.
- Araújo, M.B., Luoto, M. 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology, Biogeography* 16:743-753.
- Araújo, M.B., Guilhaumon, F., Rodrigues Neto, D., Pozo Ortego, I. Gómez Calmaestra, R. 2011. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Fauna de vertebrados. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D.T., Lobo, J.M., Millán, A., Sánchez-Fernández, D. 2012. La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas* 21(3):79-84.
- Bañares Baudet, Á., Blanca, G., Güemes Heras, J., Moreno Saiz, J.C., Ortiz, S. 2009. *Atlas y Libro Rojo de la flora vascular amenazada de España. Addenda 2008*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal y Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas. Madrid. España. ISBN: 978-84-8014-706-4.
- Brunet, M., Casado, M.J., de Castro, M., Galán, P., López, J.A., Martín, J.M., Pastor, A., Petisco, E., Ramos, P., Ribalaygua, J., Rodríguez, E., Sanz, I., Torres, L. 2009. *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid. España.
- Collins, F.C., Bolstad, P.V. 1996. A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. En: *Program of the NCGIA Third International Conference/Workshop on Integrating GIS, Environmental Modeling, January 21-25, 1996, Santa Fe, New Mexico, USA*. [http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA\\_FE\\_CD-ROM/program.html](http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/program.html)
- Elith, J., Graham, C.H., Peterson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M.S., Zimmermann, N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
- Elith, J., Leathwick, J. 2009. Species distribution models: Ecological explanation, prediction across space, time. *Annual Reviews for Ecology, Evolution, Systematics* 40:677-697.
- Felicísimo, Á.M., Muñoz, J., Villalba, C.J., Mateo, R.G. 2011. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 1. Flora y vegetación*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Golicher, D., Ford, A., Cayuela, L., Newton, A. 2012. Pseudo-absences, pseudo-models, pseudo-niches: pitfalls of model selection based on the area under the curve. *International Journal of Geographical Information Science* 26(11):2049-2063.
- Guisan, A., Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8:993-1009.
- Guisan, A., Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135:147-186.
- Gutiérrez, D., Fernández, P., Seymour, A.S., Jordano, D. 2005. Habitat distribution models: are mutualist distributions good predictors of their associates? *Ecological Applications* 15:3-18.

- Hutchinson, M.F. 1991. Climatic analyses in data sparse regions. En: Muchow, R.C. and Bellamy, J.A. (eds), *Climatic Risk in Crop Production*, pp. 55-71. CAB International, Oxon. UK.
- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J.M., Hortal, J. 2008. Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity, Distributions* 14(6):885-890.
- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A., Real, R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology, Biogeography* 17:145-151.
- Mateo, R.G., Felicísimo, Á.M., Muñoz, J. 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 217-240.
- OECC 2006. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Madrid, Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. España.
- Osborne, P.E., Suárez-Seoane, S. 2002. Should data be partitioned spatially before building large-scale distribution models? *Ecological Modelling* 157(2-3):249-259.
- Pearson, R.G., Dawson, J.W. 2003. Preceding the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology, Biogeography* 12:361-371.
- Phillips, S.J., Peterson, R., Schapire, R.P. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190(3/4):231-259.
- Phillips, S.J., Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions, a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- Rogelj, J., Meinshausen, M., Knutti, R. 2012. Global warming under old, new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates. *Nature Climate Change* 2:248-253.
- Ruiz de la Torre, J. 1990. *Memoria General del Mapa Forestal de España 1:200.000*. Banco de Datos de la Naturaleza, Madrid, España.
- Settele, J., Kudrna, O., Harpke, A., Kühn, I., van Swaay, C., Verovnik, R., Warren, M., Wiemers, M., Hanspach, J., Hickler, T., Kühn, E., van Halder, I., Veling, K., Vliegthart, A., Wynhoff, I., Schweiger, O. 2008. *Climatic risk Atlas of European Butterflies*. *Biorisk* 1:1-710.
- Sheikhasan, H. 2006. *A comparison of interpolation techniques for spatial data prediction*. June 2006, Master Thesis in Computer Science, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam. The Netherlands.
- Synes, N. W., Osborne, P. E. 2011. Choice of predictor variables as a source of uncertainty in continental-scale species distribution modelling under climate change: a case study. *Global Ecology, Biogeography* 20:904-914.